

Исследование поверхности и строения грунта Луны многоцелевым радиофизическим комплексом РЛК-Л в проекте «Луна-Ресурс»

Смирнов В. М.,¹ Юшкова О. В.,¹ Марчук В. Н.,¹ Дутышев И. Н.,² Чернышев Б. В.,² Лаптев М. А.²

¹ Фрязинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова Российской академии наук, 141190 МО, г. Фрязино, пл. им. академика Б. А. Введенского д.1, E-mail: vsmirnov@ire.rssi.ru, телефон: +7 (496) 565-24-00

² Федеральное государственное унитарное предприятие Специальное конструкторское бюро Института радиотехники и электроники Российской академии наук, 141190 МО, г. Фрязино, пл. им. академика Б. А. Введенского д.4, E-mail: abramov@sdbireras.ru, телефон: +7 (496) 565-24-03

Подповерхностное зондирование лунного грунта и определение электрофизических характеристик лунного грунта методами радиолокационного зондирования в локальном и региональном масштабах.

Subsurface sounding of the lunar soil and the definition of the electrical characteristics of lunar soil radar sounding methods to the local and regional scales.

Изучение Луны является интенсивно развивающимся направлением в области космических исследований. Практическая значимость освоения Луны заключается в расширении знаний о формировании и развитии Солнечной системы, выборе расположения мест для будущих экспедиций, оценке потенциального использования лунных ресурсов. Основным ресурсом является водный лед. Наличие воды имеет большое значение для деятельности лунных баз. По этой причине, обнаружение водяного льда в приповерхностном слое Луны является приоритетной задачей в лунных исследованиях. Радиолокация является наиболее эффективным методом разведки недр. Бурение на месте является более точным методом, но данный метод является менее эффективным и более дорогим, и его можно использовать для уточнения почвенных структур, обнаруженных радиолокатором.

Выбор места лунной базы определяется несколькими основными факторами. Прежде всего, район базирования должен удовлетворять требованиям максимального содержания интересующих нас сырьевых ресурсов и наименьших затрат, включая обустройство.

Оптимальным местом для размещения обитаемых лунных баз являются лавовые пещеры и трубки - глубокие провалы с твердыми стенками в поверхности Луны. В таком провале можно разместить крупный герметичный лунный город, защищенный от метеоритов и космической радиации толстым слоем лунной породы. Данные миссии NASA GRAIL, в ходе которой была составлена гравитационная карта Луны показали, что лавовые трубки на Луне могут иметь диаметр около 1 км. Если они имеют такие же прочные стенки, как и лавовые трубки на Земле, то, возможно, на Луне могут существовать и большие лавовые тоннели. Поиск таких тоннелей может быть выполнен с помощью длинноволновых радаров подповерхностного зондирования.

В 2007 г. была начата российская программа освоения Луны и окололунного пространства. Одна из целей данной программы – изучение характеристик поверхностных и подповерхностных структурных неоднородностей лунного грунта, его диэлектрических особенностей. Радиолокационное зондирование грунта с борта космического аппарата (КА) является наиболее эффективным методом разведки недр,

так как оно позволяет проведение быстрого и глобального обследования космического тела.

Радиолокационный комплекс РЛК-Л разработан в сотрудничестве ФИРЭ им. В. А. Котельникова РАН и СКБ ИРЭ РАН. Разработанный радиолокационный комплекс РЛК-Л состоит из двух радиолокаторов подповерхностного зондирования: Радар-20 и Радар-200. Основные характеристики локаторов приведены в таблице 1 и таблице 2, соответственно.

Радиолокационный комплекс РЛК-Л устанавливается на борт космического аппарата «Луна-Ресурс-1» (ОА). После перелета к Луне КА тормозится и переводится на полярную круговую орбиту с высотой над поверхностью от 50 до 100 км [1].

Таблица 1. Технические характеристики Радара-20

Диапазон принимаемых частот по уровню минус 3 дБ	от 17,5 до 22,5 МГц
Полоса пропускания тракта промежуточной частоты в режиме активной локации по уровню минус 3 дБ	от 5 кГц до 5 МГц
Выходная мощность передающего устройства, не менее	30 Вт
Вид излучаемого сигнала	Импульсный с внутренней ЛЧМ
Длительность излучаемого импульса	250 мкс
Длительность регистрации принятого сигнала	350 мкс
Частота следования импульсов, не менее	1 Гц
Диапазон частот излучаемого сигнала по уровню минус 1 дБ	от 17 до 23 МГц

Таблица 2. Технические характеристики Радара-200

Диапазон принимаемых частот по уровню минус 3 дБ	от 175 до 225 МГц
Полоса пропускания тракта промежуточной частоты в режиме активной локации по уровню минус 3 дБ	от 5 кГц до 5 МГц
Полоса пропускания тракта промежуточной частоты в режиме бистатической локации по уровню минус 3 дБ	300 кГц
Выходная мощность передающего устройства, не менее	30 Вт
Вид излучаемого сигнала	Импульсный с внутренней ЛЧМ
Длительность излучаемого импульса	250 мкс
Длительность регистрации принятого сигнала	350 мкс
Частота следования импульсов, не менее	1 Гц
Диапазон частот излучаемого сигнала по уровню минус 1 дБ	от 170 до 230 МГц

Исследования, выполняемые прибором РЛК-Л, предназначены для решения отдельных научных проблем пяти групп:

- картографирование минералогического состава Луны;
- картирование распределения водяного льда;
- исследование структуры подповерхностных слоев;
- топография лунной поверхности;
- исследование экзосферы, плазменного окружения Луны и процессов взаимодействия плазмы с поверхностью.

Первой и второй группы, потому, что диэлектрическая проницаемость грунта, определяемая РЛК-Л, зависит от минералогического состава (в частности, от процентного содержания оксидов металлов), плотности, пористости, теплопроводности пород. Разработанные методики обработки измерений РЛК-Л позволяют находить подповерхностные границы между геологическими средами с разными электрофизическими свойствами, определять глубину их залегания, идентифицировать

внутренние пустоты и участки с включениями повышенной плотности – это проблемы третьей группы. Решение задач четвертой группы обусловлено тем, что РЛК-Л может быть использован в качестве альтиметра, что позволяет фиксировать особенности рельефа вечно затенённых районов. В пассивном режиме прибором РЛК-Л будет изучаться электромагнитная обстановка на окололунной орбите в диапазоне рабочих частот прибора, что вносит вклад в решение научных задач пятой группы.

Зондирование в диапазоне от 17,5 до 22,5 МГц (Радар-20) позволит определить структуру слоев грунта Луны до глубин в несколько километров. В диапазоне частот от 175 до 225 МГц (Радар-200) предполагается исследовать неоднородности поверхности и детализировать распределение электрофизических характеристик верхних пластов на глубинах до десятка метров. На рисунке 1 представлена схема радиолокационного зондирования Луны.

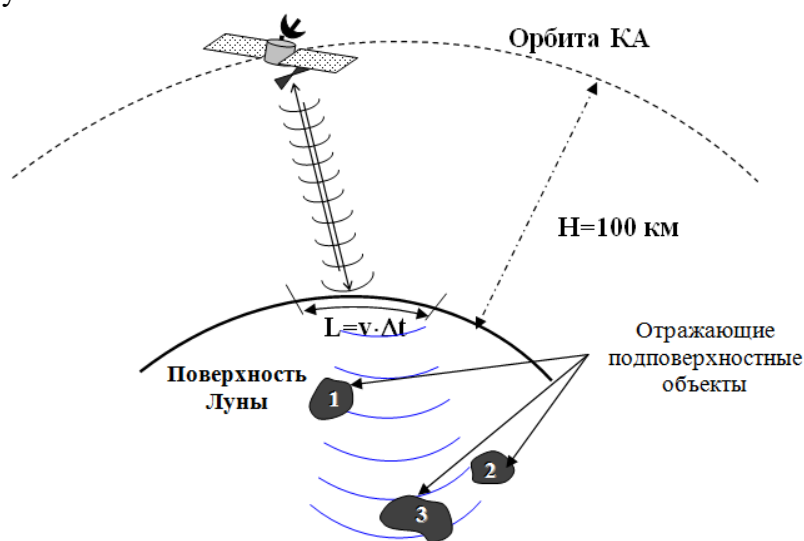


Рис. 1. Схема радиолокационного зондирования Луны

Работа радиолокационного комплекса РЛК-Л планируется в трех режимах.

Режим 1: Радар-20 и Радар-200 будут работать в режиме моностатической локации на высоте от 50 до 100 км. Для активного зондирования будут использоваться сигналы с ЛЧМ модуляцией. Радар-20 будет определять структуру лунного грунта на глубину нескольких километров с вертикальным разрешением не хуже 25 м. Радаром-200 предполагается исследовать свойства поверхности и вертикальное распределение физических характеристик в лунных верхних слоях до десяти метров глубиной с вертикальным разрешением около 1 м. Радар-20 и Радар-200 будут работать последовательно с минимальным временем переключения. Полученные отраженные от Луны сигналы сохраняются в памяти Радара-20 и Радара-200, а затем передаются на Землю для анализа.

Режим 2: Режим бистатической локации для изучения структуры грунта Луны с использованием сигналов, испускаемых мощным передатчиком с Земли при отключенном бортовом передатчике.

Режим 3 применяется для изучения пространственных и распределения частот электромагнитного излучения, возникающего под действием космических источников.

Для получения одномоментной съемки поверхности с разным пространственным разрешением функционирование Радара-20 и Радара-200 организовано в единой циклограмме попеременно с минимально возможным временем переключения между ними [2].

При подповерхностном зондировании параметры отраженного сигнала зависят от

технических характеристик радара, от высоты аппарата, рельефа поверхности, диэлектрических параметров грунта, причем не только на поверхности. В формировании отраженного сигнала участвует приповерхностный слой грунта значительной толщины, со всеми внутренними границами между диэлектрически-неоднородными средами, такими как реголит – базальт, лед - грунт. За счет интерференции волн отраженных от поверхности и подповерхностной границы спектр отраженного сигнала приобретает осциллирующий вид. Период и амплитуда осцилляций, положение минимумов и максимумов функции зависят от диэлектрической проницаемости сред и глубины границы между ними.

Для отображения результатов измерений радиолокационных установок используются радарограммы. Они получаются при движении радара вдоль орбиты спутника и показывают задержку отраженного сигнала по времени прихода сигнала, отраженного от поверхности и подповерхностных слоев Луны. По результатам подповерхностного зондирования влияние на отраженный сигнал особенностей рельефа поверхности может быть удалено из радарограмм с использованием 3-D модели рельефа Луны. Параметры геологической структуры Луны будет восстановлен с использованием специального метода решения обратной задачи.

Примеры радарограмм, полученных специализированными радаром (MARSIS Европейского космического агентства и SHARAD Итальянского космического агентства) подповерхностного зондирования Марса представлены на рисунке 2.

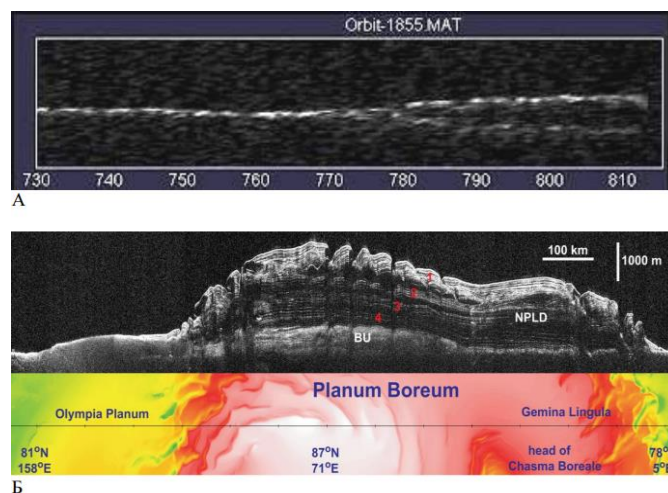


Рис. 2. Радарограммы А – MARSIS, Б – SHARAD [Roger J. Phillips, Maria T. Zuber, Suzanne E. Smrekar and et Mars North Polar Deposits: Stratigraphy, Age, and Geodynamical Response/ Scienceexpress www.scienceexpress.org / 15 May 2008 / Page 1 / 10.1126/science.1157546]

Выводы

Опыт разработки, создания и эксплуатации радаров подповерхностного зондирования, как в земных, так и в космических исследованиях показывает, что радиолокационное подповерхностное зондирование может быть эффективным инструментом, предназначенным для изучения внутренней структуры грунта и подстилающей поверхности, поиска и оценки состояния природно-антропогенных объектов, скрытых толщей лунного покрова. Радары подповерхностного зондирования позволяют исследовать внутреннюю структуру объекта без разрушения окружающей его среды.

Результаты эксперимента предполагается использовать для дальнейшего освоения Луны с целью организации межпланетной телерадиокоммуникационной связи для

будущих экспедиций, выбора посадочных мест космических аппаратов и возможности добычи лунных полезных ископаемых

Литература

1. Смирнов В.М. Материалы для научной программы проведения эксперимента по зондированию поверхности и грунта Луны. (№ ФИРЭ/РЛК-Л/2011-1) // 2011 г.
2. Арманд Н.А., Смирнов В.М., Марчук В.Н., Юшкова О.В., Абрамов В.В., Лифанцев Б.С. Радиолокационный комплекс РКЛ - Л в проекте «Луна-Глоб»: научные задачи и технические характеристики.// III Всероссийская научная конференция «Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике», 2010 г.